



⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 21 007 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:
G 02 B 6/12
H 04 J 14/04

②① Aktenzeichen: 101 21 007.8
②② Anmeldetag: 28. 4. 2001
④③ Offenlegungstag: 14. 11. 2002

DE 101 21 007 A 1

⑦① Anmelder:
Photeon Technologies GmbH, Bregenz, AT

⑦④ Vertreter:
Riebling, P., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anw., 88131
Lindau

⑦② Erfinder:
Metzler, Johann-Peter, Bregenz, AT

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:
EP 09 84 304 A2
EP 07 89 256 A2
WO 99 59 012 A1
JP 10090537 A., In: Patent Abstracts of Japan;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Multimode-Interferenzkoppler

⑤⑦ Die Erfindung betrifft einen Multimode-Interferenzkoppler (MMI) mit mindestens einem Eingangswellenleiter und mindestens einem Ausgangswellenleiter, wie er in der integrierten Optik als Strahlteiler oder als Basiselement für Multiplexer/Demultiplexer für Telekom-Anwendungen eingesetzt wird. Insbesondere betrifft die Erfindung einen Eingangskoppler zur Einkopplung eines in den MMI einzukoppelnden optischen Signals. Erfindungsgemäß ist der mindestens eine Eingangswellenleiter als Eingangskoppler mit exponentieller Geometrie ausgebildet. Dadurch wird eine erhebliche Verringerung der Streuverluste erzielt.

DE 101 21 007 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft einen Multimode-Interferenzkoppler (MMI), wie er in der integrierten Optik als Strahlteiler oder als Basiselement für Multiplexer/Demultiplexer für Telekom-Anwendungen eingesetzt wird. Insbesondere betrifft die Erfindung einen Eingangskoppler (Taper) zur Einkopplung eines in den MMI einzukoppelnden optischen Signals.

[0002] Ein wesentlicher Aspekt bei der Entwicklung von Komponenten für die integrierte Optik ist eine Reduzierung der Streuverluste, die beim Ein- und Auskoppeln der optischen Signale oder beim Verbinden von Wellenleitern und anderen Komponenten zwangsläufig entstehen. Die Reduzierung dieser Streuverluste ist insbesondere bei Anwendungen in der Telekommunikation sehr essentiell.

[0003] Diese Streuverluste entstehen einerseits durch Unterschiede im Modenprofil beim Übergang zwischen dem Eingangswellenleiter und dem MMI und zwischen MMI und Ausgangswellenleiter sowie dadurch, dass am Anfang des MMIs bereits Licht abgestrahlt wird und ein Teil des Lichtes an den MMI-Ausgängen nicht in die Ausgangswellenleiter eingekoppelt wird. Insbesondere die Kopplung zwischen den Eingangswellenleitern und dem MMI führt sowohl am Eingang als auch am Ausgang zu erheblichen Streuverlusten. Fig. 6 zeigt eine Darstellung eines MMI nach dem Stand der Technik, wie er z. B. auch in der EP 1 055 946 A1 beschrieben wird.

[0004] Die Aufgabe der Erfindung ist es nun, die Streuverluste bei MMI-basierten Chips deutlich zu reduzieren, insbesondere die Einkopplung des Lichts zwischen Eingangswellenleiter und MMI zu verbessern.

[0005] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst.

[0006] Wesentliches Merkmal der Erfindung ist eine Änderung der Interferenzbedingungen im Inneren des MMI, so dass das Licht aus den Nebenmaxima der Modenverteilung in das Hauptmaximum gebündelt wird. Dies wird erfindungsgemäß durch einen speziell angepassten exponentiellen Taper (Eingangskoppler) realisiert. Durch die Verwendung des erfindungsgemäßen Tapers am Eingang des MMI werden die Streuverluste im MMI deutlich reduziert und andererseits mehr Licht in die Ausgänge gebündelt.

[0007] In der allgemeinsten Form handelt es sich um einen exponentiellen Taper am Eingang des MMI, dessen Breite in Richtung des MMI exponentiell mit der Funktion e^x zunimmt bis er vorzugsweise die Breite des MMI erreicht. Durch die Wahl der Geometrie, d. h. durch die Wahl des Exponentialkoeffizienten x , kann man eine vorteilhafte Änderung im Modenprofil erreichen, wodurch die Streuverluste der Gesamtanordnung minimiert werden. Der genaue Werte des Exponentialkoeffizienten x , bei dem dieser Effekt auftritt hängt von der Schichtstruktur des Wellenleiters und der genauen Geometrie des MMI ab. Für die meisten Parameterkombinationen liegt dieser Exponentialkoeffizient im Bereich von $x = -5$.

[0008] Neben der beschriebenen Verschiebung der Lichtintensität aus den Nebenmaxima ins Hauptmaximum, wird die Form des Hauptmaximums besser auf die Form des Modenprofils vom Ausgangswellenleiter abgestimmt. Dadurch werden die Streuverluste beim Übergang vom MMI in den Ausgangswellenleiter ebenfalls reduziert. Hat man mehrere Ausgänge, so wird die Intensität in den Ausgängen viel gleichmäßiger aufgeteilt, was insbesondere im Hinblick auf eine Verwendung als Strahlteiler sehr entscheidend ist.

[0009] Durch den exponentiellen Taper werden außerdem die Streuverluste am Eingang des MMI reduziert.

[0010] Die beschriebenen Effekte tauchen nur bei Ver-

wendung einer exponentiellen Geometrie des Eingangskopplers und einer geeigneten Wahl des Exponentialfaktors x auf. Mit den bisherigen Eingangskopplergeometrien kann man diese Effekte nicht erreichen.

[0011] Als Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend ein auf Siliziumtechnologie ausgelegter MMI mit einem Eingang und acht Ausgängen gewählt, der bei einer Wellenlänge von 1550 nm arbeitet. Die effektiven Brechzahlen sind dabei für den Wellenleiter- bzw. planaren Bereich 1.9034 bzw. 1.8155. Der Exponentialkoeffizient des verwendeten Tapers ist in diesem Fall wie oben beschrieben $x = -5$.

[0012] Aus der nachfolgenden Beschreibung ergeben sich weitere Merkmale, Vorteile und Anwendungen der Erfindung.

[0013] Es zeigt:

[0014] Fig. 1 Schematische Darstellung eines MMI mit dem erfindungsgemäßen exponentiellen Taper auf der Einkopplenseite und acht Ausgängen zur Verwendung als Strahlteiler;

[0015] Fig. 2 Ein Schnitt durch die Anordnung nach Fig. 1;

[0016] Fig. 3 Darstellung der Feldverteilung (Wurzel aus der Intensität) im Inneren des MMI nach Fig. 1;

[0017] Fig. 4 Darstellung der Feldverteilung am Ausgang des MMI nach Fig. 1;

[0018] Fig. 5 Feldverteilung am Ausgang eines MMI mit einem Ausgangswellenleiter und exponentiellem Taper beim MMI-Eingang;

[0019] Fig. 6 Schematische Darstellung eines MMI mit 8 Ausgängen nach dem Stand der Technik;

[0020] Fig. 7 Darstellung der Feldverteilung im Inneren des MMI nach Fig. 6;

[0021] Fig. 8 Darstellung der Feldverteilung am Ausgang des MMI nach Fig. 6;

[0022] Fig. 9 Feldverteilung am Ausgang eines MMI mit einem Ausgangswellenleiter nach dem Stand der Technik;

[0023] Eine schematische Darstellung eines MMI mit dem erfindungsgemäßen exponentiellen Taper auf der Einkopplenseite und 8 Ausgängen zur Verwendung als Strahlteiler ist in Fig. 1 dargestellt. Auf der Abszisse ist die Länge des MMI aufgetragen, auf der Ordinate die Breite. Man erkennt den eigentlichen MMI 1 mit einem Eingangswellenleiter 2 auf der Einkopplenseite und acht Ausgangswellenleitern 3 auf der Auskopplenseite. Erfindungsgemäß weitet sich der Querschnitt des Eingangswellenleiters 2 in Richtung MMI exponentiell nach der Funktion e^x auf, so daß er an der Kontaktfläche 7 zum MMI die Breite des MMI 1 erreicht (2a). Ein geeigneter Exponentialkoeffizient, mit welchem gute Ergebnisse erzielt wurden ist z. B. $x = -5$. Zur besseren Ankopplung und Reduzierung der Einkoppelverluste in die Ausgangswellenleiter sind die Eingänge der Ausgangswellenleiter 3 in bekannter Weise mit einem Ausgangskoppler 4 versehen. MMI 1 und Ausgangskoppler 4 berühren sich jeweils an einer Kontaktfläche 8.

[0024] Fig. 2 zeigt einen Schnitt durch die Anordnung gemäß Fig. 1. Man erkennt ein Basissubstrat 5 auf dem der eigentliche MMI 1 zusammen mit Eingangs- und Ausgangswellenleitern 2 bzw. 3 sowie dem exponentiellen Taper 2a und Ausgangskoppler 4 angeordnet ist. Die gesamte Anordnung wird durch eine Deckschicht 6 geschützt. Die Breite der Anordnung beträgt z. B. 100 µm.

[0025] Fig. 3 zeigt die Feldverteilung des Lichts (in Dezibel (dB)) im Inneren des MMI 1 mit erfindungsgemäßen Exponentialtaper 2a auf der Einkopplenseite nach Fig. 1. Die Intensitätsmaxima 9 sind klar voneinander getrennt und sauber definiert. Auf der Einkopplenseite im Bereich des Übergangs zwischen exponentiellem Taper 2a und dem MMI 1

gibt es keine Streuverluste 10 und es geht kein Licht verloren. Im Bereich der Ausgangswellenleiter 3 gibt es nur wenig Streuverluste 11, wie ein Vergleich mit dem Stand der Technik (Fig. 7) zeigt.

[0026] Fig. 4 stellt die Feldverteilung am Ausgang des MMI (Kontaktfläche 8) mit erfindungsgemäßem Exponentialtaper dar. Auf der Abszisse ist die Breite des MMI 1 aufgetragen. Die Ordinate gibt die Feldstärke E (= Wurzel aus der Intensität) am Ausgang des MMI wieder. Zu beachten ist die niedrige Lichtamplitude zwischen den jeweiligen Hauptmaxima 12 des MMI, was auf niedrige Streuverluste schließen lässt. Ferner ist eine homogene Feldverteilung bei den Hauptmaxima 12 gegeben, d. h. eine gleichmäßige Aufteilung des Lichtes.

[0027] Fig. 5 zeigt eine Darstellung der Feldverteilung bei einem MMI mit nur einem Ausgang und exponentiellem Taper am MMI-Eingang. Neben dem praktisch vollständigen Verschwinden von Nebenmaxima ist besonders die gleichmäßige Form des Peaks 13 zu beachten.

[0028] Fig. 6 zeigt die Struktur eines MMI nach dem Stand der Technik mit acht Ausgängen bei Verwendung als Strahlteiler. Auf der Abszisse ist die Länge des MMI aufgetragen, auf der Ordinate die Breite. Man erkennt den eigentlichen MMI 101 mit einem Eingangswellenleiter 102 auf der Einkoppelseite und acht Ausgangswellenleiter 103 auf der Auskoppelseite, welche auf einem Trägersubstrat 105 angeordnet sind. Die Breite des Eingangswellenleiters 102 ist konstant und wesentlich kleiner als die Breite des MMI 101. Zur besseren Ankopplung und Reduzierung der Streuverluste sind die Eingänge der Ausgangswellenleiter in bekannter Weise mit einem Ausgangskoppler 104 versehen. Eingangswellenleiter 102 und MMI 101 bzw. MMI 101 und Ausgangskoppler 104 berühren sich jeweils an einer Kontaktfläche 107 bzw. 108.

[0029] In Fig. 7 ist die Feldverteilung im Inneren eines MMI nach dem Stand der Technik gemäß Fig. 6 gezeigt. Man erkennt deutlich, dass ein Teil des Lichtes in Form von Streuverlusten 110 am Anfang (= linke Seite) des MMI verloren geht. Die Hauptintensitätsmaxima 109 sind nicht sehr sauber voneinander getrennt, was an den Ausgangswellenleitern 103 zu starken Streuverlusten 111 führt.

[0030] Fig. 8 zeigt die Feldverteilung am Ausgang des MMI (Kontaktfläche 108) nach Fig. 6 (Stand der Technik). Man erkennt sehr viel Streulicht (Nebenmaxima) 113 zwischen den Hauptmaxima 112. Die beim Hauptmaximum eng liegende Nebenmaxima deformieren die Peakform des Hauptmaximums, was zu erhöhter Lichtabsorption (Streuung) führt. Ferner fällt die inhomogene Feldverteilung bei den Maxima 112, z. B. 112a und 112b, auf.

[0031] Fig. 9 zeigt eine Darstellung der Feldverteilung bei einem MMI mit nur einem Ausgang nach dem Stand der Technik. Zu beachten ist die deformierte Form des Peaks 114 und die Vielzahl von Nebenmaxima 115.

12 Intensitätsmaximum (Hauptmaximum)
13 Intensitätsmaximum (Hauptmaximum)
101 Multimode-Interferenzkoppler (MMI)
102 Eingangswellenleiter
103 Ausgangswellenleiter
104 Ausgangskoppler
105 Trägersubstrat
107 Kontaktfläche
108 Kontaktfläche
109 Intensitätsmaximum
110 Streuverluste
111 Streuverluste
112 Intensitätsmaximum (Hauptmaximum)
114 Intensitätsmaximum (Hauptmaximum)
115 Streuverluste (Nebenmaxima)

Patentansprüche

1. Multimode-Interferenzkoppler mit mindestens einem Eingangswellenleiter und mindestens einem Ausgangswellenleiter, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Eingangswellenleiter (2) mit einem Eingangskoppler (2a) mit exponentieller Geometrie ausgebildet ist.
2. Multimode-Interferenzkoppler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Breite des Eingangswellenleiters (2) in Richtung MMI (1) exponentiell mit der Funktion e^x vergrößert.
3. Multimode-Interferenzkoppler nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Exponentialkoeffizient x vorzugsweise $x = -5$ ist.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

Zeichnungslegende

1 Multimode-Interferenzkoppler (MMI)
2 Eingangswellenleiter
2a Eingangskoppler (Taper)
3 Ausgangswellenleiter
4 Ausgangskoppler
5 Trägersubstrat
6 Deckschicht
7 Kontaktfläche
8 Kontaktfläche
9 Intensitätsmaximum
10 Streuverluste
11 Streuverluste

55

60

65

- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO.)

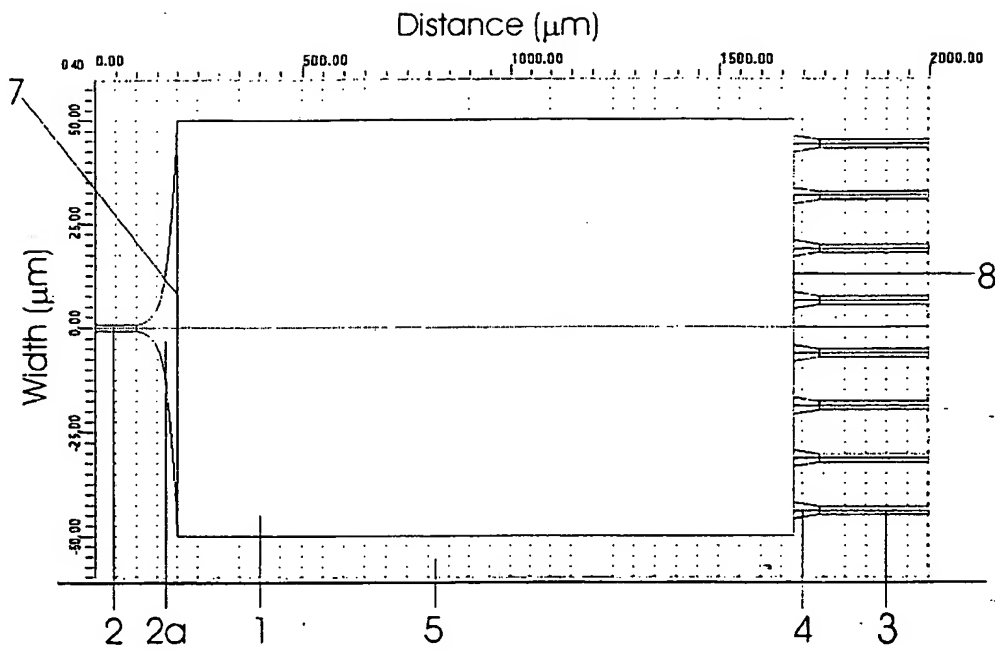


Fig. 1

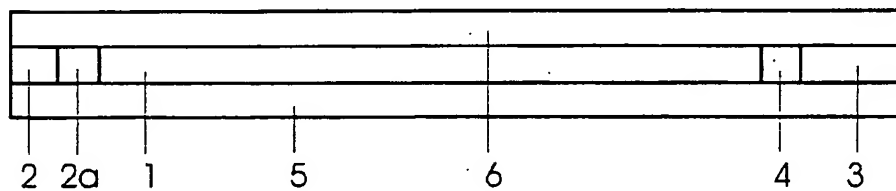


Fig. 2

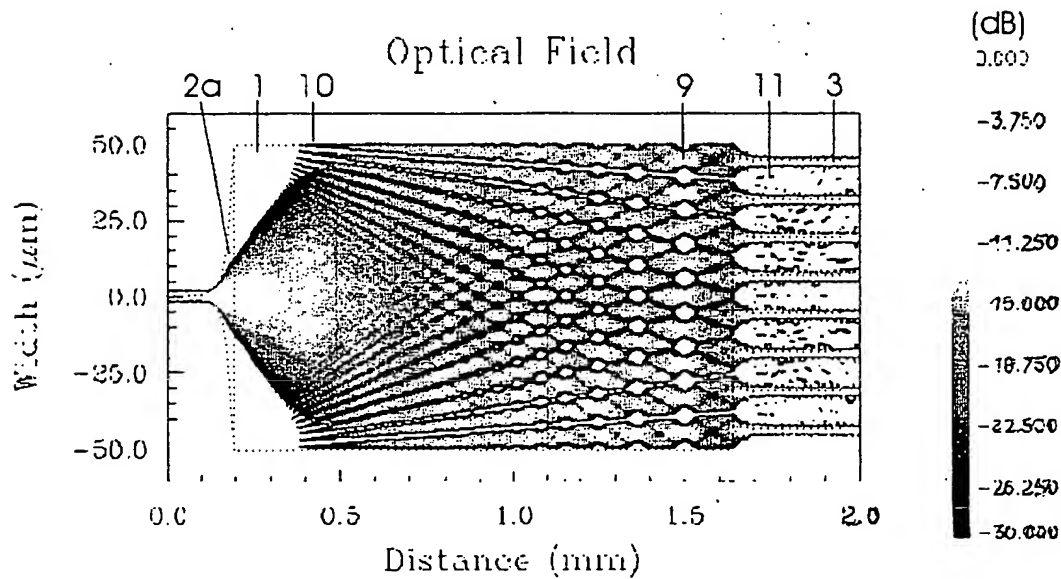


Fig. 3

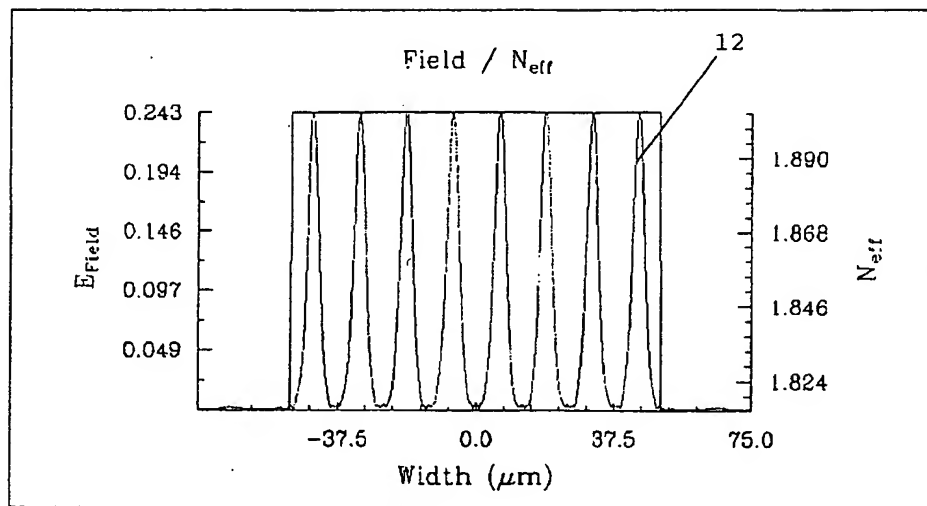


Fig. 4

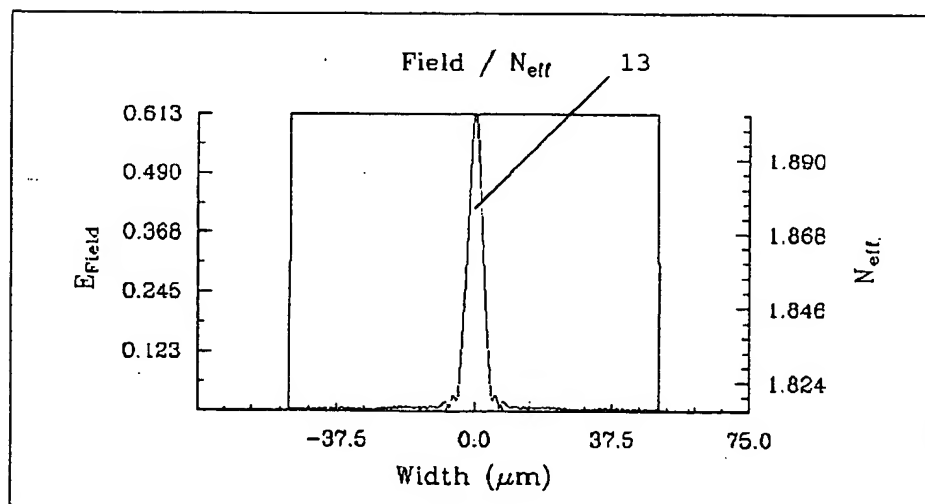


Fig. 5

Stand der Technik

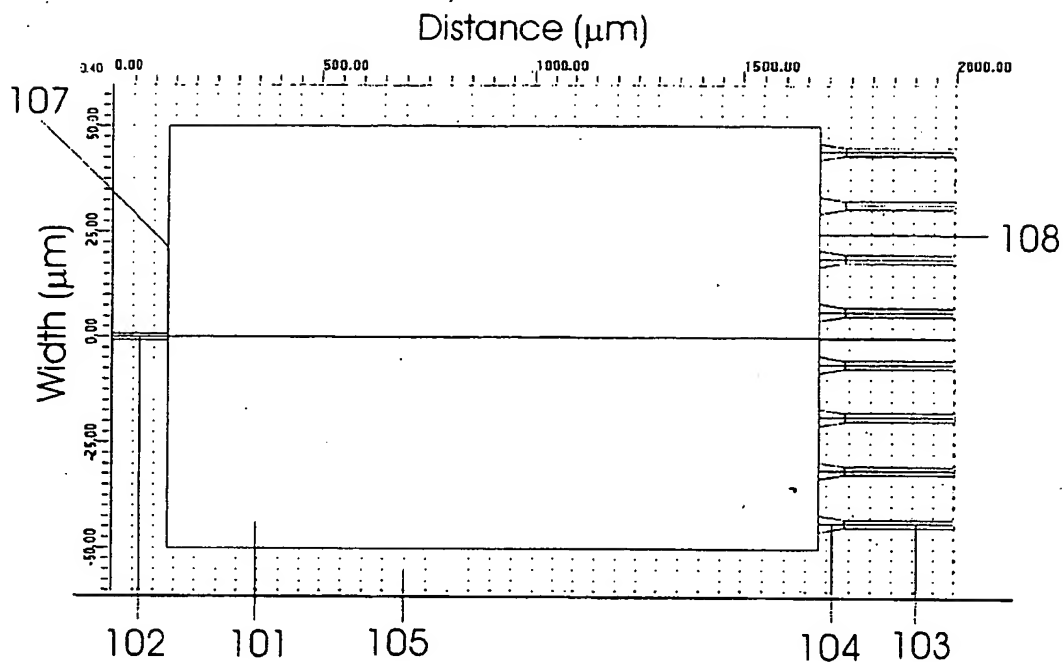


Fig. 6

Stand der Technik

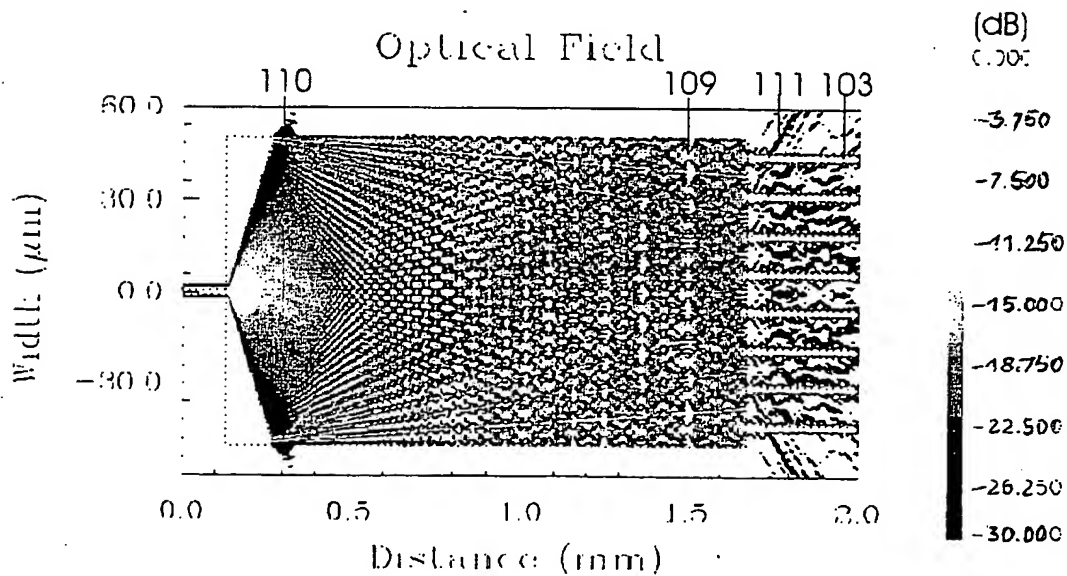


Fig. 7

Stand der Technik

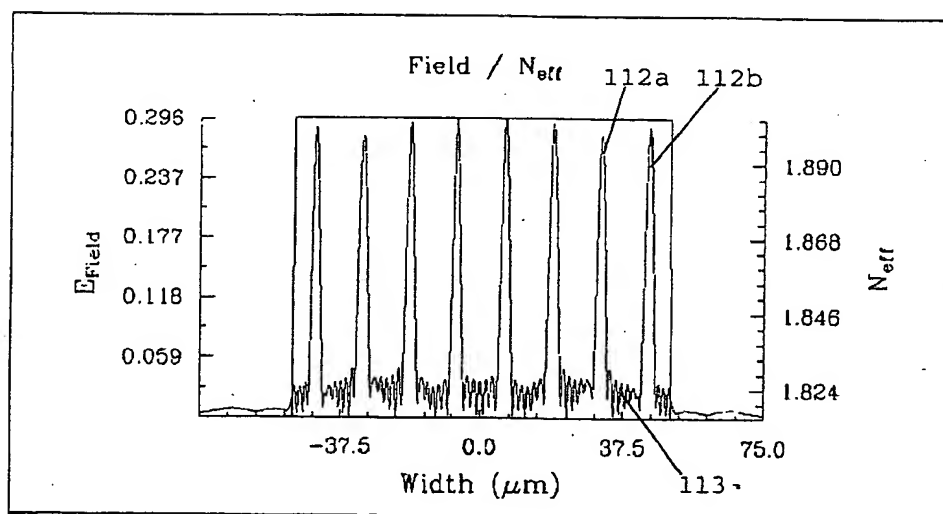


Fig. 8

Stand der Technik

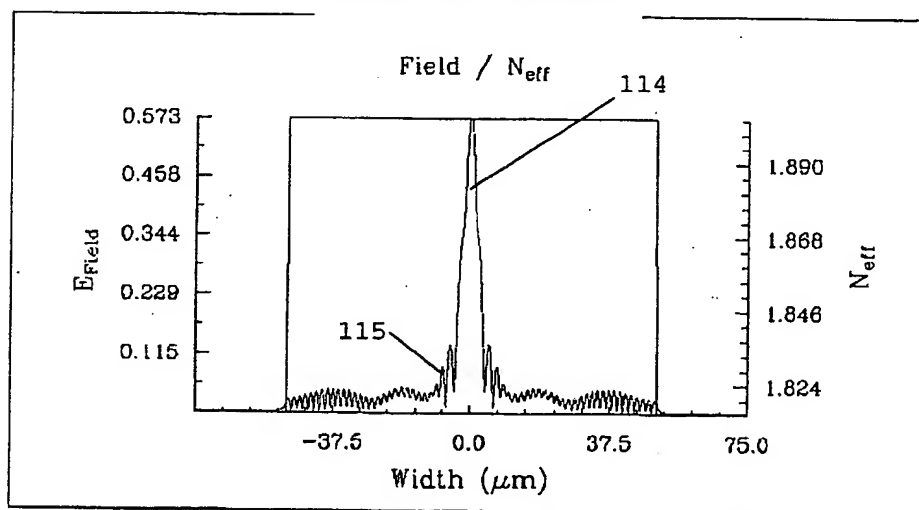


Fig. 9